お 客 様 の た め の 技 術 情 報 誌

No.2

ESPEC Technical Report 1995 Summer

ESPEC 技術情報

◆特集……信頼性試験・製品安全

CONTENTS

タバイ エスペック 株式会社

寄稿記事

製品安全(PS)と信頼性技術

井原　惇行*

わが国においても、いよいよ本年7月1日より製造物責任(PL)法が施行される。
現在、様々なPL対策がとられているが、基本は最初から欠陥を出さない製品を作り出すことであり、未然防止策である製品安全(PS)がPL対策の中心となる。
製品の安全性は、信頼性と極めて密接な関係にある。ここでは、製品安全(PS)の概要と、PS確保の基本技術となる信頼性技術について紹介する。

1. はじめに

製造物責任(PL)法は、昨年7月1日に公布され、1年間の周知期間を経て、いよいよ本年7月1日を期して施行されることとなった。

製造物責任法の施行は、社会の各方面、特に企業に大きな影響を与えることは間違いなく、PL問題をクリアできる体制をいかに作るかが、経営の重要課題になっている。

図１は、産業構造審議会総合製品安全部会答申の中で記述されている総合製品安全対策の施策体系であり、安全な製品を供給するために必要な諸施策が示されている。

かって、PL立法化の是非に関する論議が盛んに行われていた頃、技術者の中には、PL対応は品質管理部門や法務部門の仕事と思っていた人も少なくはなかったものと思われる。

しかし、PL対応の根幹をなすのは製品安全(PS)であり、その鍵を握っているのは技術者、特に開発や設計に携わる人々である。

従って、これからの技術者には、専門領域における深い固有技術はもちろん、信頼性・安全性を確保する技術、さらに、PLや環境等の社会的責任まで視野に入れた、広範囲にわたる実戦的知識と技術力が必要になってくる。

この視点にたって、PSの考え方と必要となる基本技術の概要、並びにPL対応への最近の動向などについて述べる。

2. 製品安全(PS)の考え方

2-1 製造物責任予防(PLP)とは

PL法は、被害者救済を目的に作られたものであるが、適切に対応するためには、PL問題の未然防止策であるところのPLP(Product Liability Prevention：製造物責任対策)が重要となる。

PLPは、PSとPLDの２つに分類される。

PS(Product Safety：製品安全)は欠陥製品を世の中に出さないための予防活動であり、最も基本的なPL対策となる。したがって、企業に求められるPL対策としての第一の責務は、PSの確保である。

PSには、製品自体の安全設計は勿論のこと、「取扱説明書」や製品本体に貼付される「警告ラベル」も含まれ、広義の意味での安全な製品作りをいう。したがって、製品の企画、開発、設計、製造から使用、廃棄に至るライフサイクル全般にわたる技術的対応が必要となるが、その中心的役割をなすのが、開発・設計段階である。

一方、PLD(Product Liability Defense：製造物責任防御)は、PL事故発生後の防御対策をいい、訴訟対策やPL保険加入などが含まれる。

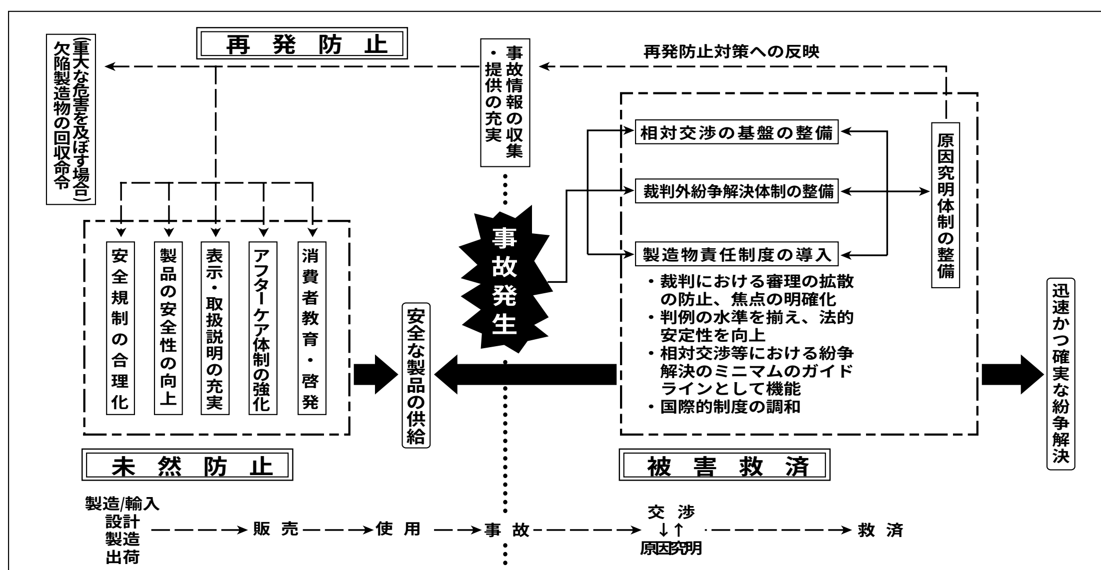


図1　総合製品安全対策の施策体系
「産業構造審議会総合製品安全部会答申」より転載

＊日本電気株式会社 CS品質推進部

2-2 製品欠陥の種類とその安全対策

製品の欠陥には、図２に示すように、「製品自体の欠陥」と「警告・表示上の欠陥」があり、さらに製品自体の欠陥は「設計上の欠陥」と「製造上の欠陥」とに分けられる。

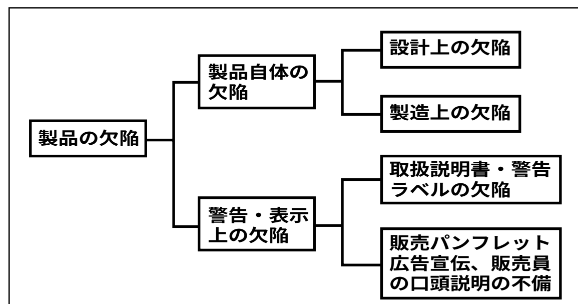


図2　製品欠陥の分類

① 設計上の欠陥
設計図面や仕様書通りに製品が作られているにもかかわらず、欠陥と判定される場合で、材料の選択ミスや強度不足などがこれに当たる。

② 製造上の欠陥
設計仕様通りに製品が作られていない場合で、不純物の混入や作業ミスなどがこれに当たる。

③ 警告・表示上の欠陥
製品自体に欠陥はないが、その製品の使用に必要な取扱説明書や警告ラベルが不適であった場合などがこれに当たり、製品の欠陥と判断される。

3. 製品安全を確保する基本技術

3-1 製品安全と信頼性技術との関わり

信頼性は、JISで「アイテムが与えられた条件で規定の期間中、要求された機能を果たす性質」と定義されている。ここで、アイテムとは、信頼性の対象のことで、システムや機器、部品などを指す。

図３は、バスタブカーブ(浴槽曲線)といわれるもので、信頼性を考える場合によく用いられる。信頼性では、この耐用寿命を伸ばしたり故障率を規定値以下に維持することを考える。

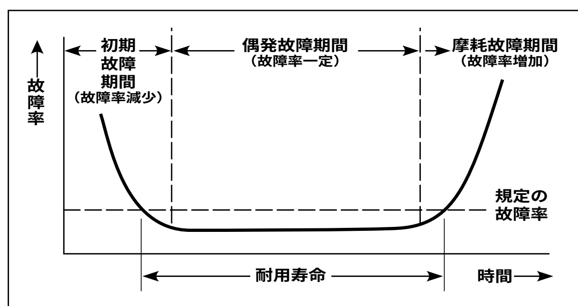


図3　故障率曲線（バスタブカーブ）

一方、安全性は、「人間の死傷または資材に損失もしくは損傷を与えるような状態でないこと」と定義されており、両者は厳密には違った意味をもっている。信頼性が高いからといってそれで必ず安全であるとはいえない場合もでてくる。

しかし、特に技術面で見た場合には、2つの間に極めて密接な関係があり、信頼性設計の技法のなかの多くのものは、安全性を確保するためのものでもある。フェールセーフ設計やフールプルーフ設計などは、その代表的なものである。また、信頼性試験や故障解析技術も安全性の確保に欠かせない技術である。

製品安全は、製品の安全性を高めるための対策であり、使用期間中に事故が発生しない製品を供給する必要がある。すなわち、使用段階での故障を未然に防止するための信頼性の考え方およびその技術は、PSを支える基本技術といえる。

3-2 製品安全を確保する技術

製品安全を確保するための技術は、次の3つに分けられる。

① 製品事故を未然防止するための技術
② 安全性を確認・立証するための製品安全性評価技術
③ 安全設計・評価技術の開発に結びつく製品事故究明技術
これらはいずれも信頼性技術と深い関わりをもっている。

3-2-1 製品事故未然防止のための技術

(1) リスクの評価

製品安全設計を実施するために、最初に取り組む課題は、リスクの分析評価である。リスク分析あるいはリスク・アセスメントと呼ばれ、危険の大きさ、発生確率、人への影響度合い等が評価される。

(2) 製品設計安全基準

設計する際の安全レベルの基準には、

① 法令基準
② 業界基準ないし業界慣行
③ 同業他社製品の安全レベル
④ その他安全技術情報
などが参考にされる。法令基準は法によって義務づけられた行政上の基準であくまで最低要件であり、PL上の責任を免れる理由とはなり得ない。PLの観点から、その時の最高の安全レベルを目指すことが必要とされる。

(3) 製品安全設計の手順

製品の安全設計は、次の手順で行う必要がある。

① まず、可能な限り危険の除去、回避もしくは軽減する。危険が除去できない場合には、許容できる水準までリスクを軽減させる。
(リスクが最小になるように設計する)
② 除去できない危険に対する防護対策を講ずる。
(安全装置を使用しリスクを軽減する)
③ 危険に対する設計上の対処が不可能な場合にその危険について伝達する。
(警告ラベル、取扱説明書で伝達する)

3-2-2 製品安全性評価技術

(1) 環境に起因する危険

製品が設計通りに安全性や信頼性が確保されるか否かは、使用される環境が関わってくる。製品はその使用される環境条件によってストレスを受け、劣化や故障に至り危険が生じる可能性がある。即ち、同じ製品であっても環境条件により、その製品の信頼性や安全性は異なったものとなる。

(2) 信頼性試験技術

製品の劣化や故障の原因となるストレスには、環境ストレスの他に動作ストレスがある。環境ストレスおよび動作ストレスの主なものを、表１に示す。こうしたストレスによる劣化を調査するため、信頼性試験や安全性試験を行う。信頼性試験には種々の方法があるが、特に環境試験は信頼性試験の中で最も基本的なものであり、PS確保の観点からも、さらに重要性が高まってきている。なお、環境試験は一般に試験に長時間を要することが多く、可能な限り試験時間を短縮するために加速試験が行われる。

表1　ストレスの例

環境ストレス	動作ストレス
① 温度、温度変化	① 電流
② 湿度、湿度変化	② 電圧
③ 雨、風、雪	③ サージ
④ 雷	④ コロナ
⑤ 日射	⑤ アーク
⑥ 高度、高度変化	⑥ トラッキング
⑦ 振動	⑦ 誘導電荷
⑧ 衝撃	⑧ 雑音
⑨ 加速度	⑨ 炎
⑩ 引張り、圧縮	⑩ 温度上昇
⑪ 曲げ、ねじり	⑪ 局部発熱
⑫ 砂塵、ちり、ゴミ	⑫ 繰り返し応力
⑬ 微生物、かび	⑬ 電解腐食
⑭ 放射線	⑭ しゅう動
⑮ 電磁波	⑮ 開閉

(3) ヒューマン・ファクター

たとえ人間が危険を認識しても必ず回避する行動がとれるとは限らない。ヒューマン･ファクターは人間を中心に製品や環境との関係を研究する。ヒューマン･エラーをなくすためには、ヒューマン･ファクターの視点から製品安全設計が必要になる。

3-2-3 製品事故究明技術

(1) 事故原因究明の重要性

安全な製品を作り出していくためには、過去の事故原因を究明し、その原因を取り除くための製品安全設計技術や、製品安全性評価技術を開発していくことが重要である。

事故原因が製品の故障である場合には、信頼性技術の一つである故障解析を活用できる。

(2) 故障解析とは

故障解析は、故障発生のメカニズム、発生率及び故障の影響を検討し、是正処置を決定するために行われる。

一般に、故障解析はその実施段階によって、次の3つに分類される。

① 事前解析

主として開発･設計段階で行われるもので、故障内容とその発生メカニズム、影響を予測し、リスクを限界内におさえこむための故障解析である。解析手法としては、信頼性ブロック図、FTA(故障の樹解析)、FMEA(故障モードと影響解析)などが用いられる。故障原因が設計上の問題として明らかになれば、設計の見直しを行い、故障の発生を未然に防止する。

② 事中解析

製品の製造段階および使用中における特性値の劣化や故障を予知するためのもので、異常傾向が見つかれば、故障に至る前に交換するなどの処置がとられる。

③ 事後解析

製造工程中、試験、使用段階で発生した不良品や故障品に対して行われるもので、一般に故障解析といえばこれを指す。故障の真の原因を究明することにより、対策や再発防止策への反映が可能となる。

(3) 故障解析の手順

故障解析の手順は、医師が人間の病気の診断を行うのとよく似ている。最初に問診から始め、脈拍、血圧等の測定、X線透視、MRなどによる内部診断を、次にそれらの情報を基に手術へと進めていく。同様に製品の場合でも、使用状況の調査から始め、電気的特性の測定、X線透視、分解、元素分析と外部解析から内部解析の順で解析を進めていく。図４に、例として電子部品の故障解析手順を示す。

なお、故障解析には、製品に対する深い知識、高価な分析機器とそれを使いこなす分析能力を必要とする。

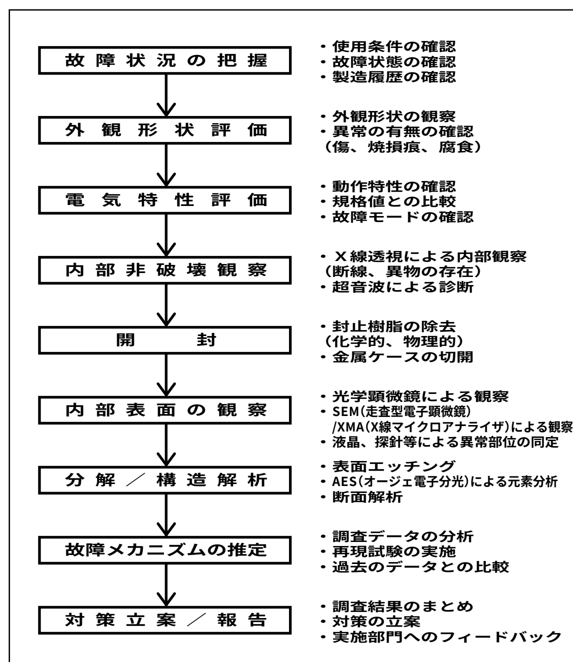


図4　電子部品の故障解析手順(例)

(4) 解析結果のフィードバック

破壊や故障をひき起こすメカニズムを解釈するのに役立つモデルが「故障物理のモデル」といわれるものである。表２に、代表的な故障物理のモデルを示す。これらのモデルは、故障メカニズムが理解できると同時に、設計や評価技術に反映される。

表2　故障物理のモデル

（1）ストレス・強度モデル（図5）
（2）反応論モデル（図6）
（3）累積損傷モデル
（4）確率的モデル
　① 故障率モデル
　② 最弱リンクモデル（鎖モデル）
　③ 束モデル（網モデル）

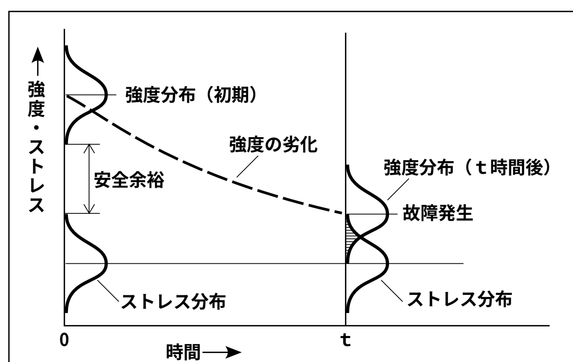


図5　ストレス・強度モデル

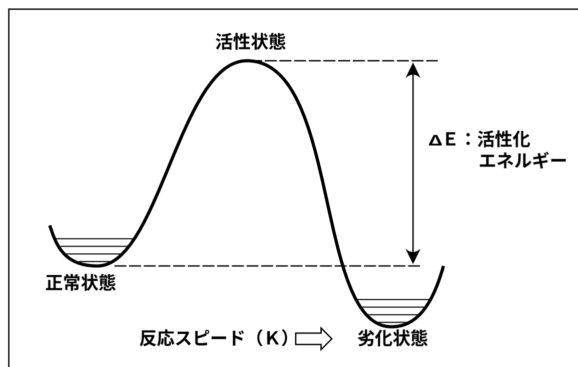


図6　反応論モデル

(5) 故障解析技術の現状

故障解析技術は、信頼性技術のなかでも特に重要な分野の一つであるが、現在、この分野での日本の技術レベルは世界でも高く評価されている。

IC、LSI等の半導体製品の品質や信頼性がここまで高められたのは、新技術開発時や市場段階で発生した故障のメカニズムを解明し、その対策を設計や製造にフィードバックできたことも大きく寄与している。

4. PL対応への最近の動向

4-1 表示・取扱説明書の充実・適正化

平成6年10月に、通商産業省から、「製品の表示・取扱説明書の充実・適正化に関する指導要綱」が公表されている。製品関連事故を防止するには、製品自体の安全確保とともに、安全な使用方法にかかわる情報を使用者に的確に伝達することが必要であり、本報告書は、その記載内容、記載方法のあり方を示したもので、本報告書の趣旨を踏まえて品目ごとの自主基準を作成することを求めている。

4-2 原因究明機関の整備

製造物責任法案に対する衆参両院の付帯決議の中で、被害者の立証負担の軽減を図るため、原因究明機能を充実強化すべきとしている。

通商産業省が整備を進めている原因究明体制の概要は、

① 通商産業検査所における原因究明能力の向上
② 民間検査機関における原因究明の受入れ体制の整備
③ 各地の原因究明機関を結ぶネットワークの形成

などである。このなかで、③項のネットワークについては、通商産業検査所を中核とし、民間組織、公設試験所、大学研究室など各種機関で構成された原因究明機関ネットワークを平成7年6月1日よりスタートさせた。

また、経済企画庁では国民生活センターの設備の拡充を進めるとともに、全国の消費生活センターを含めたネットワークの整備を進めている。さらに、平成7年5月には、「製品事故に係る原因究明機関の在り方」に関する緊急調査報告書が経済企画庁から発表され、そのなかで内外の関係機関の現状と今後の方向が示されている。

4-3 裁判外紛争処理体制の整備

さらに、上記附帯決議の中で、被害の迅速かつ簡便な救済を図るため、裁判外の紛争処理体制の整備を図ることを求めている。平成6年10月に通商産業省から「製品分野別裁判外紛争処理体制の整備に関する指導要綱」が公表された。そのなかで、個々の製品分野の実情を踏まえた紛争処理体制の整備の推進を求めている。

また、同省からは製品事故が起きた場合の企業における苦情処理のあり方に関する調査報告書も、公表されている。これに対し業界団体では、表３に示すように、紛争処理機関の設立または設立の準備を進めている。

表3　裁判外紛争処理機関の例

紛争処理機関	対　象　製　品	受付開始
住宅部品 ＰＬセンター	住宅の一部を構成する設備 内外装、天井、床、トイレ　など	平成6年 9月から
家電製品 ＰＬセンター	家電製品一般、テレビ、ビデオ、炊飯器、ステレオ、携帯電話 など	平成7年 3月から
生活用品 ＰＬセンター	家具、台所用品、靴、傘　など	平成7年 4月から
ガス石油機器 ＰＬセンター	ストーブ、湯沸かし器、風呂 など	平成7年 4月から
化学製品 ＰＬセンター	塗料、インク、スプレー類、接着剤　など	平成7年 6月から

例えば家電メーカー32社と11団体で構成する家電製品協会では、欠陥製品で被害を受けた消費者からの苦情処理や紛争を裁定するための「家電製品PLセンター」を設置し、平成7年3月1日から「相談・斡旋」、4月3日から「裁定」の受け付けをそれぞれ開始した。当センターの組織は、製品の安全性や欠陥に関する紹介・相談・苦情などを担当する「相談部門」と、製品関連事故に係わる紛争処理を担当する「裁定部門」で構成されている。

5. まとめ

新製品開発による競争力の強化が、企業にとって重要施策の一つであることは今後とも変わりはないが、特に今日のようなPL時代においては、製品の安全性確保が最優先されなければならない。

従って、本文で述べたように、信頼性技術や安全性技術といった製品安全を確保するための基本技術が、新製品の開発や生産に欠かせないものとして位置付けられていくことが必要であろう。

［参考文献］

1）井原惇行：「技術者に求められる製品安全の考え方と基本技術」、電子技術(Vol.37,No.5)、日刊工業新聞社、(1995)
2）益田昭彦/井原惇行：「電子機器設計における信頼性・安全性への配慮」、電子技術、日刊工業新聞社、(1994)
3）産業構造審議会・総合製品安全部会答申：「事故防止及び被害者救済のための総合的な製品安全対策の在り方について」、(1993)
4）日本品質管理学会PL研究会編：「品質保証と製品安全」、日本規格協会、(1994)
5）塩見弘/久保陽一/吉田弘之：「信頼性試験ー部品」、日科技連出版社、(1984)
6）塩見弘/久保陽一/高橋洽太郎：「故障解析とその応用」、日科技連出版社、(1984)
7）通商産業省産業政策局消費経済課：「消費生活用製品の取扱説明書等の在り方について」、(1994)
8）通商産業省産業政策局消費経済課編：「PL対策ハンドブック」、(1994)
9）通商産業省商務流通審議官通達：「製品分野別裁判外紛争処理体制の整備について」、(1994)
10)経済企画庁：「製品事故に係る原因究明機関の在り方に関する緊急調査報告書」、(1995)
11)通商産業省、製品安全協会への委託調査報告書：「製品事故・苦情処理対応の基本的考え方」、(1994)
12)家電製品PLセンターパンフレット

技術レポート　1

冷熱衝撃試験による プリント配線板の信頼性確認

田中 浩和*/青木 雄一*/山本 繁晴*

プリント配線板の銅めっきスルーホールの劣化は、熱ストレスや機械的応力により、めっき部の亀裂や断線として発生する。
これは、熱ストレスの場合、それを構成する銅、基材（樹脂）、はんだなどの熱膨張の差により、めっき部に繰り返し応力が加わるために発生する。本稿では、この熱ストレスの影響を確認するため、冷熱衝撃試験（温度サイクル試験〔気槽式〕、熱衝撃試験〔液槽式〕）を実施し、銅めっきスルーホールの特性値の変化と、断面観察とにより故障の発生メカニズムについて解析したので報告する。

1. はじめに

電子機器の用途拡大により、プリント配線板があらゆる分野、さまざまな環境下で使用されるようになってきた。また、搭載部品の小型化、高密度実装により、配線パターンの細線化、スルーホールの小型化が進み、プリント配線板の信頼性の確保は益々重要となってきている。

本報告は、冷熱衝撃試験による、プリント配線板スルーホールの劣化について試験、解析したので報告する。

2. 銅めっきスルーホールの信頼性と試験方法

銅めっきスルーホールの劣化は、熱ストレスや機械的応力によりめっき部の亀裂や断線として現われる。

これは、熱ストレスの場合、それを構成する銅、基材（樹脂）、はんだなどの熱膨張の差により、銅めっき部に繰り返し応力が加わるために発生する。今回、この熱ストレスの影響を確認するため、冷熱衝撃試験（温度サイクル試験〔気槽式〕、熱衝撃試験〔液槽式〕）を実施し、その特性値の変化と、断面観察より故障の発生メカニズムについて解析した。

試料は、図1に示す形状のランドレス貫通スルーホール（バイアホール）が連続に接続された図2のようなガラスエポキシ基板（米国NEMA規格型番FR-4）を用いて試験を行った。試験条件を、表1に示す。試験は、スルーホール中のはんだの有無、試験温度条件、温度変化時間による特性値変化と故障モードについて調べた。特性値変化は基板の導体抵抗を、ミリオーム・メータを用いて測定した。また、断面観察は、スルーホールめっき部を樹脂含浸、切断、研磨し金属顕微鏡により観察した。

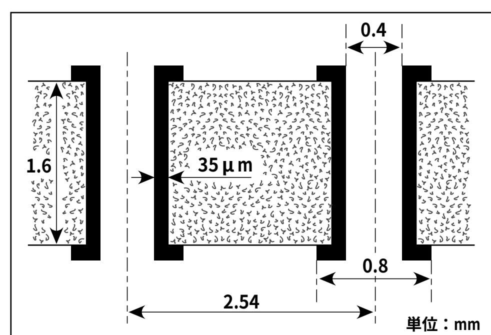


図1　スルーホール形状

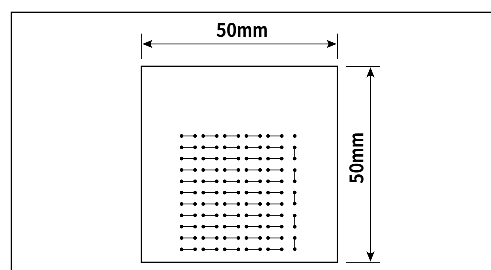


図2　基板パターン

＊環境試験技術センター

表1　試験条件

試験目的	試験項目	前処理	試 験 条 件
はんだの有無による差異	温度サイクル試験（気槽式）	○	-65℃ ⟷ +125℃, 各30分, 1000サイクル
		×	
温度条件による差異（はんだ有り）	温度サイクル試験（気槽式）	○	-40℃ ⟷ +125℃, 各30分, 1000サイクル
			-65℃ ⟷ +125℃, 各30分, 1000サイクル
			-65℃ ⟷ +150℃, 各30分, 1000サイクル
温度変化時間の違いによる差異（はんだ有り）	温度サイクル試験（気槽式）	○	-65℃ ⟷ +125℃, 各30分, 1000サイクル
	熱衝撃試験（液槽式）		-65℃ ⟷ +125℃,　各5分, 1000サイクル

※前処理：はんだ耐熱試験，260℃，10秒，はんだ：63Snwt%

3.　試験結果

3-1 はんだの有無による差異

スルーホールの導体抵抗値の変化を図3に示す。断面観察結果より、故障モードは、いずれも銅めっき部のコーナークラックであった。また、はんだが有る場合の方が劣化の進行が早く、クラックの発生と進行が、はんだに関係すると考えられる。写真1

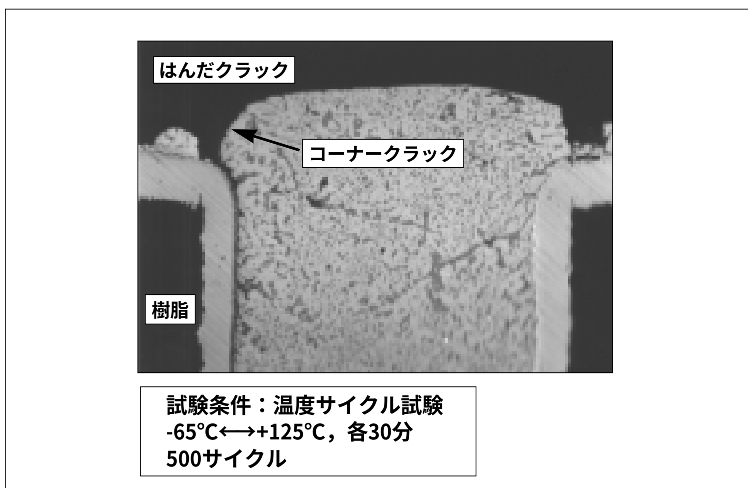


写真1　断面観察結果（はんだ有り）（×200）

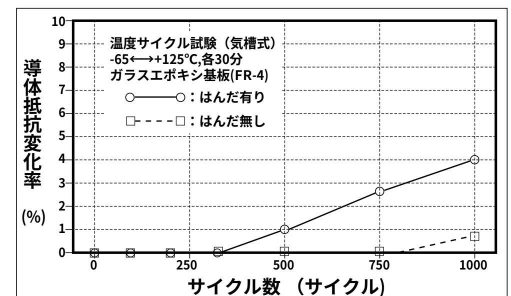


図3　はんだの有無による導体抵抗の変化

3-2 温度条件による差異

各温度条件による導体抵抗値の変化を図4に、各条件の500サイクルにおける断面観察結果を写真2（次ページ）に示す。結果より、故障モードはいずれも銅めっき部のコーナークラックであり、温度差が大きいほど劣化の進行が早いことが確認できた。

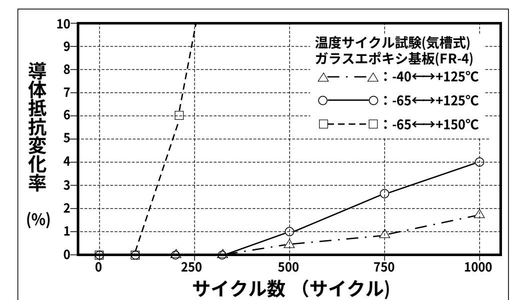


図4　各温度条件の導体抵抗の変化

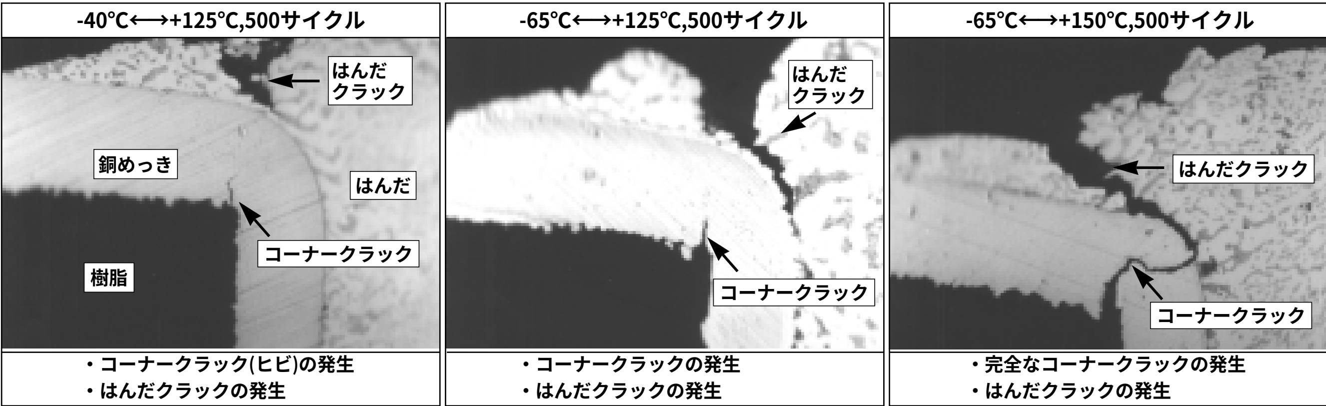


写真2　断面観察結果（×500）

3-3 温度変化時間の違いによる差異

温度変化時間による差異を比較するため、温度サイクル試験（気槽式）と熱衝撃試験（液槽式）を実施した。導体抵抗値の変化を図5に示す。断面観察結果より、故障モードは、いずれもコーナークラックであるが、熱衝撃試験においては、銅めっき部にゆがみが生じており、高い応力が加わったと考えられる。写真3

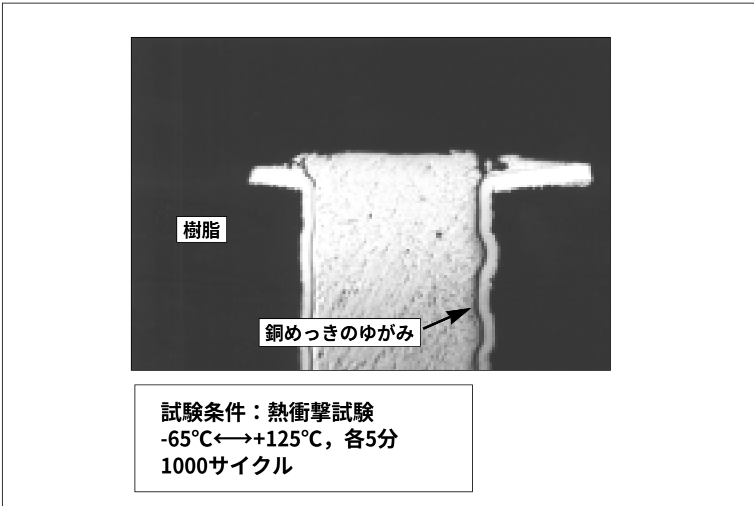


写真3　断面観察結果（×100）

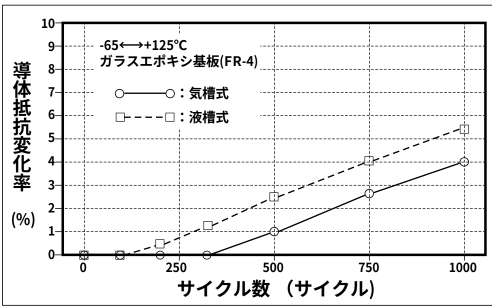


図5　気槽式、液槽式による導体抵抗値の変化

4. 考　察

今回の試験において、完全に断線に至っためっきスルーホールのコーナークラックでは、はんだクラックも発生していることが断面観察により明らかとなった。また、はんだフィレット（接合部の角を満たすはんだ部分）が高く、はんだクラックが発生していないものは、コーナークラックが完全な断線状態には至っていない。これらの結果より、めっきスルーホールの寿命は、はんだと大きく関係しており、はんだクラックを抑えることにより、スルーホールの信頼性を高めることになると考えられる。

表2にプリント配線板を構成する、各材料の熱膨張率を示す。温度のサイクルによって、それぞれの材料の熱膨張の差によって図6に示すように、コーナー部およびはんだに応力が集中し、ここに大きな繰り返し応力が加わりクラックが発生する。また、はんだの初期は、銅めっきクラックの方が、先に発生する。

表2　各材料の熱膨張率

材　料	熱膨張率(ppm/℃)
銅	17
はんだ	24〜25
ガラスエポキシ (xy方向)	13〜18
ガラスエポキシ (z方向)	110〜250

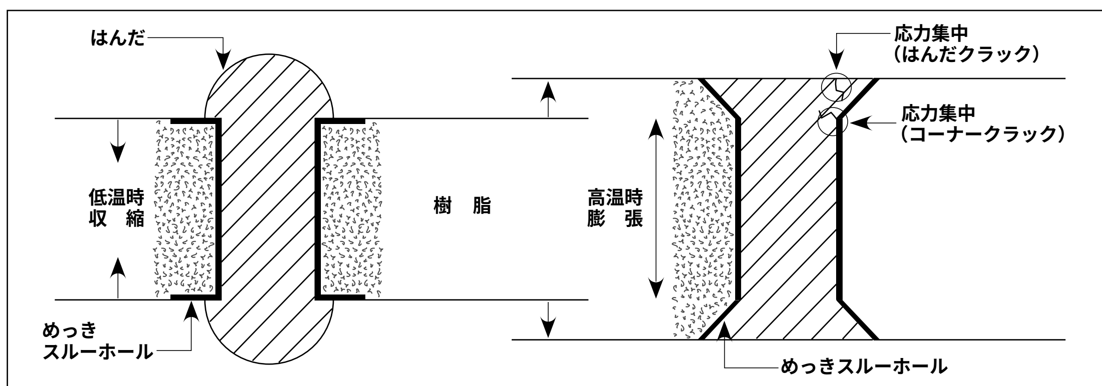
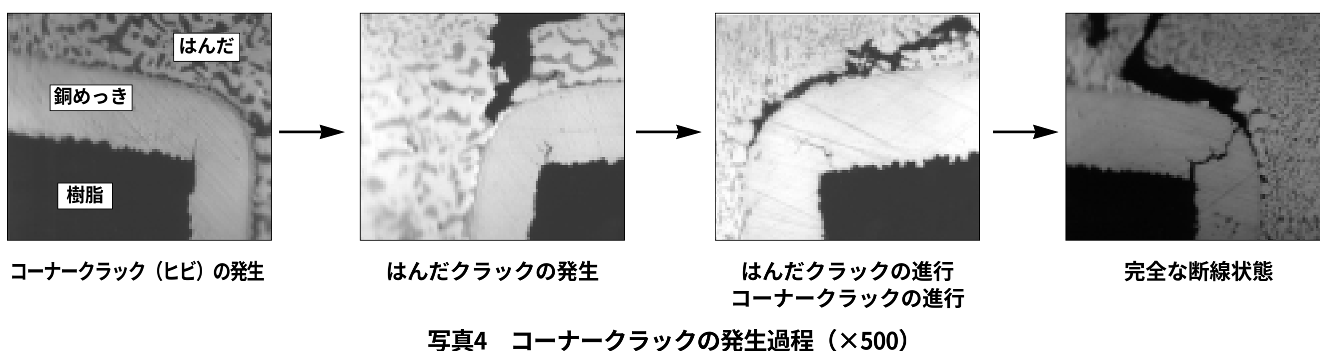


図6　温度のサイクルによるスルーホールの変形

しかし、はんだも高温と応力ストレスにより、粒界の粗大化が進行し、引張力、せん弾力が低下し、やがて破断する。そして、コーナー部に応力が集中しクラックが進行して断線状態に至る。この過程を写真4に示す。



コーナークラック（ヒビ）の発生　　はんだクラックの発生　　はんだクラックの進行 コーナークラックの進行　　完全な断線状態

写真4　コーナークラックの発生過程（×500）

5.　まとめ

今回の試験を行い、以下のようなことがわかった。

(1) プリント配線板のめっきスルーホールの故障は、主にコーナークラックであり冷熱衝撃試験（気槽式、液槽式）を行うことにより確認できる。
(2) コーナークラックは、はんだクラックと大きく関係しており、はんだクラックを抑えることにより、スルーホールの信頼性を向上できる。
(3) 試験温度差が大きいほど、温度変化時間が早いほど、スルーホールの劣化が早いことが、確かめられた。

今回、断面観察よりスルーホールの劣化は、はんだクラックと関係することが確認されたが、まだその関係の統計的なデータ解析ができていない。

また、スルーホールの劣化とはんだクラックが、導体抵抗値の変化にどのように関係するか今後継続して調査が必要である。

[参考文献]

1) 田中誠三、清水友明（日本精機株式会社）：「スルーホール基板の温度サイクル試験による信頼性評価」、第11回日科技連信頼性・保全性シンポジウム報文集、(1981)
2) 田中和吉：「はんだ付け技術」、総合電子出版、(1974)
3) 雀部俊樹（日本デジタルイクイップメント）：「プリント配線板のめっき技術」、表面実装技術（日刊工業新聞発行）、(1993)
4) 国立天文台：「理科年表」、丸善、(1992)

技術レポート　**2**

はんだクラックの発生メカニズム

田中 浩和*/青木 雄一*/山本 繁晴*

電子工業製品の高密度実装を支えているものの1つに、はんだ付け接合部がある。小型化する電子部品を確実に実装するためには、はんだ付け接合部の高い信頼性を確保することが、今後の重要な問題となってくる。
このはんだ接合部が、長期間の熱や機械的応力により劣化し、はんだクラックなどが発生し、製品の故障の原因となる。
本稿では、このはんだクラック発生メカニズムを確認するために、熱ストレスによる影響について信頼性試験を実施したので報告する。

1.　はじめに

はんだ付けの信頼性に関しては多くの問題があり、近年の高密度実装、はんだ付け接続点数の増加からも信頼性の改善は重要となってきている。

今回、温度サイクルによるはんだのクラック発生について試験、解析をしたので報告する。

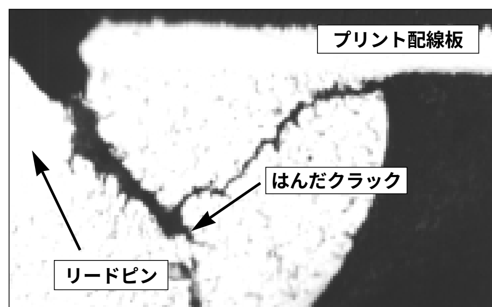
2.　はんだとはんだクラック

はんだは、Sn（すず）とPb（鉛）の合金であり、溶解温度・粘性・流動性など接合的には最も適した共晶合金である。このはんだが、液相状態より冷却され凝固点に達した時、Pbの溶け込んだα相（Pb rich）と、Snの溶け込んだβ相（Sn rich）という2つの固相状態となって凝固する。

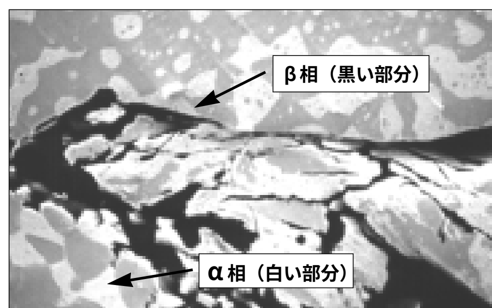
この2つの相は、接合部が凝固した直後には小さな粒子として一様に分布した状態である。また、プリント配線板パターンなどのCuと接合する場合、はんだのSnがCuの結晶粒界に拡散（粒界拡散）し、金属間化合物をつくり接合する。

このはんだ接合部が、長時間の熱や機械的応力により劣化し、はんだクラックなどの現象が発生する。写真1(a，b)

この故障メカニズムを確認するため、熱ストレスによる影響について信頼性試験を実施した。



(a) はんだクラック発生箇所（×100）



(b) クラック断面の走査型電子顕微鏡写真（×1000）

写真1　はんだクラックの断面図

3.　信頼性試験と観察結果

一般に市場で発生したはんだクラックの断面観察をすると、はんだ接合初期に比べ、Sn、Pb各相の粒子が粗大化していることが確認できる。

これについては、はんだを高温で加熱したり、常温で長期間保管することにより、粗大化することが知られている。また、Cuとの接合界面で

＊ 環境試験技術センター

発生しているクラックでは、接合界面上にPbのみが多く残った状態となっている。これは、高温時SnのCuへの拡散が加速され、Pbのみが接合界面上に残り接合強度を低下させたためである。

これらを考慮し、高温による熱の影響と、温度サイクルによる熱ストレスの影響を調べるため、高温放置試験、温度サイクル試験（気槽式）と熱衝撃試験（液槽式）を実施した。表1

試料として、片面紙フェノール基板を用い、ここに、CuにSnまたは、はんだめっきされたリードピン部品を、260℃、10秒間のはんだディップ(63Snwt%）を行い試験を開始した。試験後にはんだクラック発生箇所を樹脂含浸、切断、研磨処理し、金属顕微鏡、SEM（走査型電子顕微鏡）により観察した。

表1　試験項目と試験条件

試験項目	試験条件
高温放置試験 （高温恒温器使用）	125℃,100時間
	150℃,100時間
温度サイクル試験 （気槽式冷熱衝撃装置使用）	-65⟷125℃,各30分 500サイクル
熱衝撃試験 （液槽式冷熱衝撃装置使用）	-65⟷125℃,各5分 500サイクル

＊各試験名は、EIAJ規格のものを使用しています。

3-1 高温放置試験による観察結果

高温放置した試料を48時間後、および100時間後にそれぞれ取り出し断面観察した。観察結果より、150℃の温度条件では48時間でα相の粗大化はかなり進んでおり、125℃の温度条件においても100時間後は粗大化が進んでいる。写真2

これらより、温度条件が高いこと、長時間加熱されることにより、α相の粗大化の進行が促進されることが確かめられた。

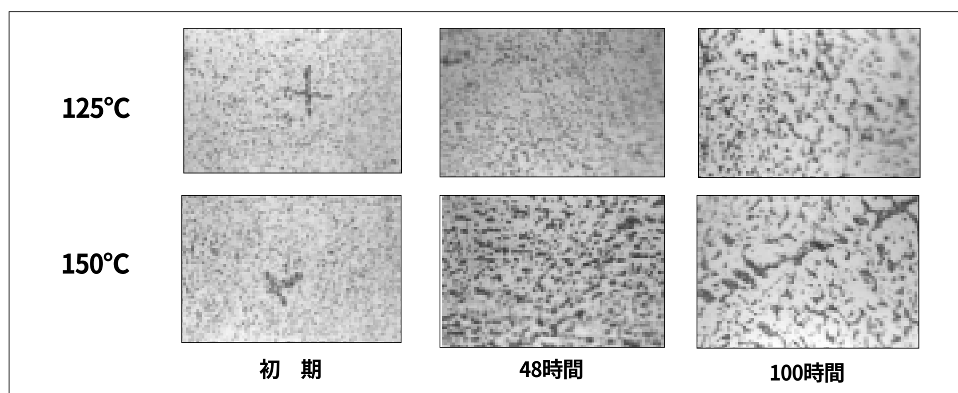


写真2　高温放置によるα相の変化（×500）

3-2 温度サイクル試験による観察結果

図1のように、基板ピンホール周辺（a部）およびリードピン近く（b部）に、クラックが発生した。

クラック発生部を、SEM（走査型電子顕微鏡）により観察すると、はんだのα相が粗大化しており、その粒子がある方向性をもった形状になっている。写真3　破断面を調べると、高応力が加わったような破面をしており、特にα相の部分より破断している。また、α相にはクラックに至っていないが、マイクロクラックが多数発生している部分もある。写真4

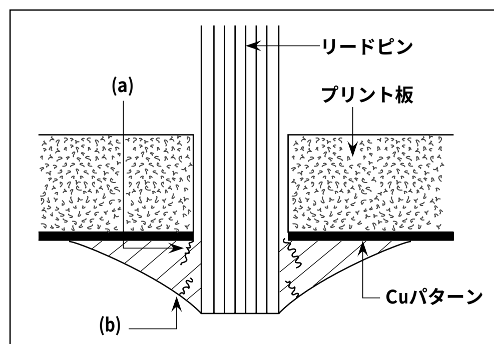


図1　温度サイクル試験によるクラックの発生箇所

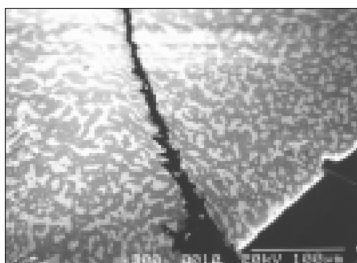


写真3　クラック破断面（×300）

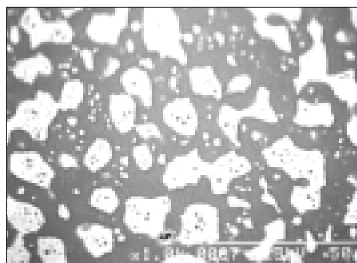


写真4　α相のマイクロクラック（×1000）

3-3　熱衝撃試験による観察結果

はんだ内部のクラックも少し見られるが、図2のようなリードピン（a部）、Cuパターン部（b部）のはんだ接続箇所での、界面剥離が発生している。写真5　また、金属間化合物合金層も厚くなっており、Snの拡散が進行していたと考えられる。温度サイクル試験のようなマイクロクラックは発生していない。

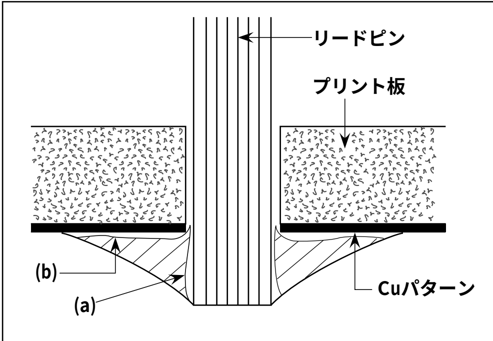


図2　熱衝撃試験によるクラックの発生箇所

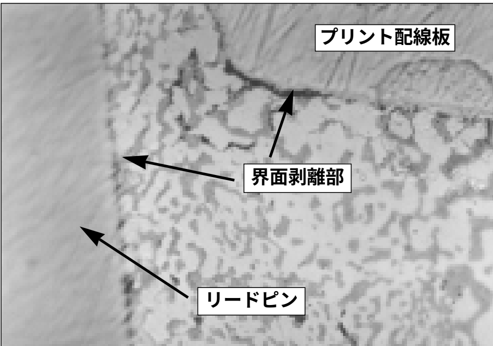


写真5　界面剥離断面（×200）

4.　はんだクラック発生メカニズムの推定

一般に、はんだ接合部の結晶（共晶）状態は、はんだ付け初期には小さな粒子状態であり、この状態では機械的特性は優れ、応力に対して緩和する特性をもっているが、長時間放置すると徐々に溶け合ったり拡散したりして、より大きな粒子状態になる。この拡散は、高温や応力を受ければ、より一層促進されることになる。この状態になったはんだは、はんだとしての機械的特性は低下する。即ち、Sn、Pbそれぞれの特性として働く。

表2よりSn、Pbは、はんだの状態に比べ、引張力・せん断力が、かなり低下していることがわかる。また、各相の粒界が粗大化しているため、粒界接合面が広くなっており、ここに、大きな繰り返し応力が加わればクラックが発生する。

このクラック発生過程を、温度サイクル試験と熱衝撃試験の場合について以下に述べる。

4-1 温度サイクル試験によるクラック発生メカニズム

(1) 高温さらし時にSnの拡散が進み、α相（Pb）が粗大化する。
(2) 温度のサイクルにより、プリント配線板、リードピン、はんだの熱膨張係数の違いによりはんだ接合部に繰り返し応力が加わる。
(3) α相が応力の方向に細長く引き伸ばされ、マイクロクラックが発生し応力を緩和する。
(4) 各相の粒界が粗大化しているため、Sn、Pb接合部界面の応力に対する接合強度が低下する。
(5) そのため、粒界破断が発生し、その後マイクロクラックの発生のため、せん弾力の低下しているα相にも、はんだクラックの現象がみられる。図3

表2　はんだSn，Pbの特性表

特性項目	単位	はんだ 60Snwt%	Sn	Pb
引張力	kg/mm²	5.4	1.5	1.4
せん断力	kg/mm²	3.47	2.02	1.39
伸び	%	30	55	39

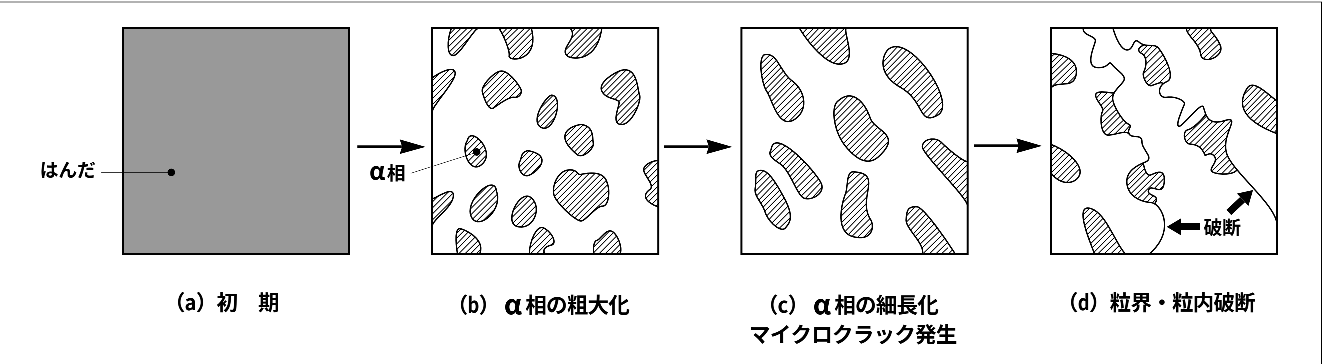


図3　温度サイクル試験によるクラック発生過程

4-2 熱衝撃試験によるクラック発生メカニズム

(1) 気槽式に比べ、熱伝導率が高いため、高温時にさらにSnのCuなどの金属への拡散が進み金属間化合物（Cu-Sn合金層）の表面がα相（Pb）の状態になる。

(2) 温度のサイクルにより、プリント配線板、リードピン、はんだの熱膨張係数の違いによりはんだ接合部に繰り返し応力が加わる。

(3) 急激な温度変化のため、高応力が金属間化合物界面のα相に加わり破断し、界面剥離が生じる。図4

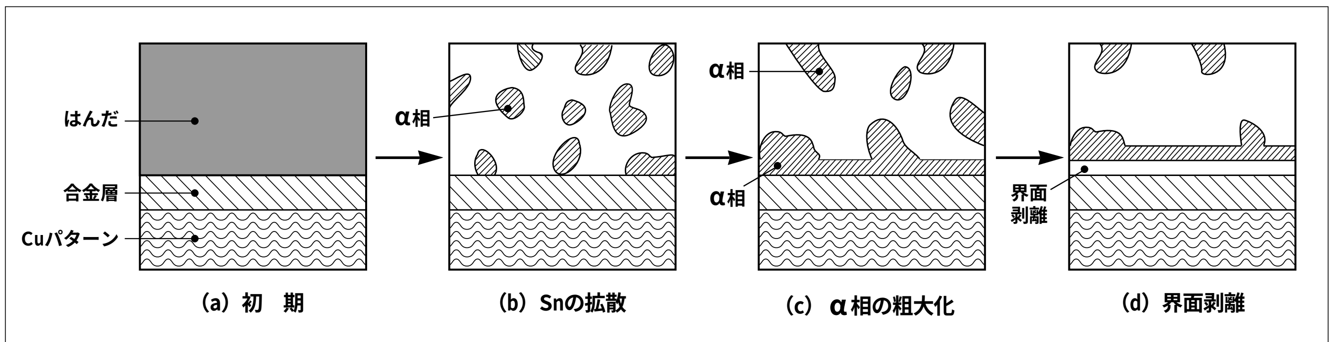


図4　熱衝撃試験によるクラック発生過程

5.　まとめ

今回、熱ストレスによる、はんだクラック発生メカニズムについて報告した。これらより、はんだ付けの信頼性を評価する方法として温度サイクル試験（気槽式）と熱衝撃試験（液槽式）は有効な試験方法であることがわかるが、故障モードが異なるため、評価するポイントが異なると考えられる。

(1) 温度サイクル試験（気槽式）
クラックは、はんだ内部より発生しており、はんだの特性劣化を評価するのに有効な試験方法である。

(2) 熱衝撃試験（液槽式）
クラックは、基板パターンおよび部品リードピン接合部より発生しており、はんだの接合性を評価するのに、有効な試験方法である。

6.　謝辞

都立工業技術センター信頼性研究会の皆様には貴重なご意見を頂き、深く感謝申し上げます。

[参考文献]

1）川口虎之輔：「エレクトロニクス・ハンダ接合部の顕微鏡写真集」、日本アルミット株式会社、(1992)
2）松重誠一、中山　寛、近藤弘志、村田公利（トヨタ自動車）：「加速寿命試験の考え方と実施例」、第21回日科技連信頼性・保全性シンポジウム報文集、(1991)
3）田中和吉：「はんだ付け技術」、総合電子出版、(1974)
4）国立天文台：「理科年表」、丸善、(1992)
5）西浦正孝　他（松下電子部品株式会社）／塩見茂男　他（宇宙開発事業団）：「表面実装部品はんだ接続部の信頼性研究（4)、第22回日科技連信頼性・保全性シンポジウム報文集、(1992)

TOPICS

解説
CEマーキング

北村　喜生*

託験事業の中の「海外規格対応サポートサービス」で
弊社と事業提携しております
株式会社エーペックス・インターナショナルで
CEマーキング業務ご担当の北村様にCEマーキングについて
わかりやすく解説していただきました。

今、電気・電子業界で一番の関心事はCEマーキングでしょう。事実、私共株式会社エーペックス・インターナショナルにも従来の安全規格申請、ISO9000コンサルタントにも劣らない数のCEマーキングに関する相談が寄せられています。最近はCEマーキングに関する文献が、多数出版されているので、勉強の材料には事欠きません。しかし、EU指令やEN規格が法律文章的であり、なかなか理解し難く、分かったような分からないようなところではないでしようか。詳細な解説はそれら文献に任せるとして、本稿では敷居を低くして、抵抗なく、CEマーキングに取り組めるように解説してみたいと思います。

1. EU指令とは

ヨーロッパ単一経済圏を達成する為に、EU委員会で作成されたEU加盟国向けの指令書です。指令には最低限の安全要求事項が書かれており、これに適合する製品は、どの加盟国でも自由に販売できます。又、加盟国はこの指令を国内法として採用する義務があります。

元々は加盟各国に対するEUの内々のルールであり、これは指令書の条文が「加盟国は・・・」となっていることからも分かります。この事がEU域外からの輸入品に対する条文の解釈上における混乱を招いていると考えられます。

2. CEマーキングとは

その製品が、EU指令に記載されている必須要求事項(以下ERと呼ぶ)に適合している(つまり安全である)ことをメーカーが意志表示(宣言)する為のマーキングです。これに似たものとしては従来からある安全マーク(GS、Ⓢ マークなど)があります。CEマーキングと安全マークとの違いを表1に示します。

表1　CEマーキングと安全マークとの比較

	CEマーキング	安全マーク
貼　付	義　務	任　意
認　証	自己認証（申請／届出の要無し）	認証機関に申請／認証
有効国	EU全加盟国	そのマークに関係する国のみ

3. 機械指令 / EMC指令 / 低電圧指令

EU指令はたくさんありますが、今最も注目を集めているのは、機械指令、EMC指令、低電圧指令です。本誌読者の皆さんが関係する機器の大半は、前記3つの指令に含まれると考えて間違いないでしょう。各指令には、該当する製品群が定義されています。それを表２に示します。

表2　各指令における該当製品の定義

	該　当　製　品
機械指令	可動部(人力は除く)が1個でも含まれる機器
EMC指令	妨害電磁波を発生または影響を受ける可能性のある機器
低電圧指令	AC50～1000V(DC75～1500V)で動作する機器

4. 機械指令か低電圧指令か？

自社の製品がどちらの指令に該当するかが気になるところですが、おおよそ次のように考えて下さい。

・可動部がほとんどなく､あってもそれによる人体への傷害が無いに等しい機器は、低電圧指令(例：電子機器)
・可動部による傷害が充分考えられる機器は、機械指令(例：工作機械)

もっとも、低電圧指令か機械指令かの区分けは、'97年以降になればあまり重要ではありません。消費者から見れば、どの指令に該当しているかに関係なく、安全でなければならない訳ですから。どちらの指令と考えるかは、メーカーの判断に任せられています。それでも不安な場合は、公認機関やコンサルタント会社に相談してみて下さい。

＊株式会社エーペックス・インターナショナル　第一業務部

5. 適用時期

適用時期を図1に示します。

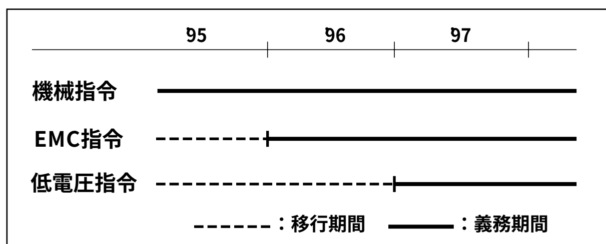


図1　各指令の適用時期

図1から分かるように、機械指令はすでに義務付けされています。EMC指令は来年から義務付けされます。したがって、今年中に販売する機械(機械指令該当製品)は、少なくとも機械指令に適合させておく必要があります。過去からの在庫品であっても販売時点が規制の対象となります。EMC指令は、来年からですが、もう6ヶ月しか猶予がありません。右見て左見たらもう来年です。今からすぐにEMC対応に着手すべきです。低電圧指令該当のメーカーも安心していてはいけません。EMC指令対応と安全対策は別個にやるべきではありません。部品の選定などでトラブルのもとです。

6. モジュール

CEマーキングの文献を紐解くと必ずモジュールの話が出てきます。ここで言うモジュールとは電子回路のユニットのことではありません。いうならば、適合性評価、宣言の手順のことであり、8つのモジュールがあります。前記3指令に大いに関係するのが、モジュールA(およびAa)です。このモジュールAとは、メーカーによる自己認証・宣言の手法を意味します。

つまり、製品の安全性評価を自社で行い、評価機と同じ品質の製品を製造出来る能力・管理体制があることを自己管理すれば、CEマーキングを製品に貼り付け出来る訳です。モジュールAaとは、安全性評価を自社で行う代わりに公認機関に下請けに出し、そこの証明書を基に自己宣言する手順であり、Aaであってもあくまでも自己宣言には変わりありません。市場に出まわっている製品の大半は、モジュールA(またはAa)で処理出来る製品です。モジュールB～Hが対象となる機器は、特別と考えて良いでしょう。

7. ＥＮ規格

安全性評価の基本は、ERへの適合の評価です。しかしながら、指令は法律文章であり、またどのような機器にもあてはまるように抽象的表現になっており、それを使うにはあまりに疑問だらけです。その為、それに代わるものとしてEN規格(欧州統一規格)での評価はERでの評価と同等として認める旨のことが、指令本文に書かれています。
したがって、現実的対応としてはEN規格を使って評価するのが良策と言えます。

EN規格は、タイプA、タイプB、タイプCの3つに分けられます。タイプCは、一番なじみの深い規格であり、EN60950、EN61010といった、製品のカテゴリー毎に作られた規格です。タイプBは各安全の種類ごとに作られた規格(EN60204など)であり、タイプAは、包括的規格(EN292など)です。評価される機器に合ったタイプC規格があれば話は早いのですが、工作機械など、いわゆるマシン向けのタイプC規格は少なく、その場合はタイプBとタイプAを適宜、使うことになります。

しかし、例えばEN60204には具体的な絶縁距離や耐電圧値などが書かれていませんので、その場合にはタイプC規格の中から一番妥当と思われる規格を援用して判断することになります。

8. 宣言書及び技術ファイル

このようにして、製品が安全であることが証明できれば、製品にCEのロゴを貼り付けできます。それと同時に「宣言書」および「技術ファイル(TCF)」を作る必要があります。宣言書とはメーカー(または代理人)がその製品がどの指令、規格に照らして安全であったのかを第三者に分かるようにする為に書く一枚の紙です。宣言書の様式は特に決まったものはありませんが、色々な文献で例が示されていますので、それらを参考に作れば良いでしょう。宣言書への署名は、誰が行うのか、また、肉筆サインでないといけないのかなどの問題が巷で色々と話題になっていますが、正しい解釈と言うのは結局のところ、現時点では誰も分かりません。というのは、それらを含めてEU指令の解釈は最終的には、欧州裁判所の判断に委ねなければならず、具体的判断がいまだ出ていない現状では、全ての意見はただの私見でしかないといえます。

技術ファイルとは、その製品の構造や安全評価の内容が第三者に説明できる技術書類をまとめたものです。これには回路図、部品表、組立図、取扱説明書、保守マニュアル、安全評価チェックリストなどが含まれます。そして、この技術ファイルは査察当局から要求があった時に提示出来るようにしておく必要があります。

CEマーキングのお問い合わせは、
タバイエスペック株式会社 試験部にお申し付けください。

〈東部営業グループ〉
横浜市保土ヶ谷区神戸町134　〒240
横浜ビジネスパーク・ウエストタワー9F
TEL045-336-6407（ダイヤルイン）FAX045-336-6411

〈西部営業グループ〉
大阪市北区天神橋3-5-6　〒530
TEL06-358-4746（ダイヤルイン）FAX06-358-5500

No.1の記事訂正とお詫び

技術レポート1の７ページ（9.謝辞）の記事中、松下通信工業株式会社品質保証部と記載しましたが、品質管理部 品質保証グループの誤りです。
訂正するとともに、お詫び申し上げます。

ESPEC技術情報

・発行日……1995年6月30日発行（年4回発行）
・発　行……タバイエスペック株式会社
大阪市北区天神橋3-5-6

●本誌に関するお問い合わせは
タバイエスペック株式会社「ESPEC技術情報」編集室
までお申し付けください。
TEL.06-358-4511　FAX.06-358-5505

タバイ エスペック 株式会社

本　社	大阪市北区天神橋3-5-6　〒530 TEL.06-358-4741代表	FAX.06-358-5500
首都圏本部	横浜市保土ヶ谷区神戸町134　〒240 横浜ビジネスパーク・ウエストタワー9F TEL.045-336-6400代表	FAX.045-336-6401
仙　台	TEL.022-234-4881	FAX.022-275-0561
大　宮	TEL.048-643-1918	FAX.048-645-1597
筑　波	TEL.0298-57-7355	FAX.0298-57-7320
日　野	TEL.0425-84-2175	FAX.0425-84-2124
横　浜	TEL.045-336-6410	FAX.045-336-6411
松　本	TEL.0263-48-0401	FAX.0263-48-0410
名古屋	TEL.052-777-2551代表	FAX.052-777-2575
金　沢	TEL.0762-60-8030	FAX.0762-60-8033
大　阪	TEL.06-358-4746	FAX.06-358-5500
広　島	TEL.082-231-8365	FAX.082-295-3248
新居浜	TEL.0897-41-3163	FAX.0897-43-1139
福　岡	TEL.092-471-0932	FAX.092-474-3500
神　戸	TEL.078-822-4645	FAX.078-822-4689
京　都	TEL.075-315-1232代表	FAX.075-311-6305
滋　賀	TEL.0748-72-5077	FAX.0748-72-5070
海外関連会社	ESPEC CORP.(U.S.A.) 上海愛斯佩克環境儀器有限公司(中華人民共和国)	

タバイ エスペック サービス 株式会社

本　社	寝屋川市太間東町23-12　〒572 TEL.0720-34-1191代表	FAX.0720-34-7755
仙　台	TEL.022-234-4881	FAX.022-275-0561
宇都宮	TEL.0286-67-8734	FAX.0286-67-8733
大　宮	TEL.048-643-1918	FAX.048-645-1597
筑　波	TEL.0298-57-7355	FAX.0298-57-7320
千　葉	TEL.043-286-6020	FAX.043-286-6022
日　野	TEL.0425-84-2175	FAX.0425-84-2124
東　京	TEL.03-3752-8601代表	FAX.03-3752-8625
厚　木	TEL.0463-94-9433	FAX.0463-94-6542
松　本	TEL.0263-48-0401	FAX.0263-48-0410
静　岡	TEL.054-237-8000	FAX.054-238-3441
名古屋	TEL.052-777-2551代表	FAX.052-777-2575
金　沢	TEL.0762-60-8030	FAX.0762-60-8033
大　阪	TEL.0720-34-1191代表	FAX.0720-34-7755
京　都	TEL.075-311-8081代表	FAX.075-311-6305
滋　賀	TEL.0748-72-8077	FAX.0748-72-5070
姫　路	TEL.0792-22-8461	FAX.0792-22-8490
広　島	TEL.082-231-8365	FAX.082-295-3248
新居浜	TEL.0897-41-3163	FAX.0897-43-1139



本誌は再生紙を使用しています。